

**Signalverzögerungseinrichtung und Verfahren zur
dynamischen Verzögerung eines digital abgetasteten Signals**

5

Die Erfindung betrifft eine Signalverzögerungseinrichtung und ein Verfahren zur dynamischen Verzögerung eines digital abgetasteten Signals.

- 10 Beispielsweise für Signalgeneratoren, welche Mobilfunksignale generieren, besteht die Notwendigkeit, die im Basisband digital vorliegenden Signale dynamisch zu verzögern, beispielsweise um den variablen Schwund (Fading) zu simulieren. Dynamisches Fading ist für
- 15 Mobilfunkübertragungstrecken, bei welchen sich die Abschattungs- und Reflexionsbedingungen des sich räumlich bewegenden Mobilfunkgeräts auf der Übertragungstrecke ständig ändern, eine typische Kanaleigenschaft. In Signalgeneratoren für die Mobilfunkmeßtechnik müssen diese
- 20 dynamischen Signalverzögerungen daher in der Basisbandaufbereitung nachgebildet werden. Dynamische Verzögerung bedeutet dabei, daß die Zeitverzögerung, welche das Signal erfährt, nicht konstant ist, sondern sich dynamisch ändert. Der Signalgenerator verfügt deshalb
- 25 in dem Basisband über eine Signalverzögerungseinrichtung, welche Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist. Die gesamte Basisbandaufbereitung und die Anordnung der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung können beispielsweise aus der DE 101 24 372 A1 entnommen werden,
- 30 wobei die Signalverzögerungseinrichtung dort als Fadingeinheit (Fad A, Fad B) bezeichnet ist.

- Solange nur eine statische Verzögerung in der Signalverzögerungseinrichtung vorgenommen werden soll, ist
- 35 dies nicht weiter problematisch. Für jeden Abtastwert des Eingangssignals wird genau ein verzögerter Abtastwert mit einer konstanten Verzögerung erzeugt. Wenn dies im Rahmen der Genauigkeit ausreichend ist, genügt es, die Abtastwerte des Eingangssignals in einen zyklischen

Speicher zu schreiben, beispielsweise in ein RAM (Random Access Memory) und zyklisch verspätet auszulesen. Eine solche zyklische Speicheranordnung für einen Fading-Simulator ist beispielsweise aus der DE 101 08 922 A1 bekannt. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann dem zyklischen Speicher eine Interpolationseinrichtung nachgeschaltet werden, die zwischen zwei Ausgangs-Abtastwerten des zyklischen Speichers entweder linear, in der Regel jedoch mit einer Funktion höherer Ordnung, interpoliert.

10

Ein Problem tritt dann auf, wenn die Verzögerung nicht statisch, also konstant, sondern dynamisch, d. h. zeitlich variabel ist. Nimmt die durch die Interpolation hervorgerufene Zusatzverzögerung gegenüber den Ausgangs-Abtastwerten des zyklischen Speichers zeitlich zu, so führt dies dazu, daß in einem Bereich, der durch zwei aufeinanderfolgende, aus dem Speicher ausgelesene Abtastwerte definiert ist, nicht nur ein Zwischenwert, sondern zwei Zwischenwerte interpoliert werden müssen. Eine solche Bereichsüberschreitung stellt noch kein tatsächliches Problem dar. Während ein neuer Wert in den Speicher eingeschrieben wird, wird kein neuer Wert aus dem Speicher ausgelesen, so daß die Interpolationseinrichtung dann nochmals eine Interpolation mit den gleichen Abtastwerten, allerdings mit anderen Interpolationskoeffizienten, die der neuen, zweiten Interpolationsstelle entsprechen, vornimmt.

Ein tatsächliches Problem ergibt sich aber, wenn die durch die Interpolation hervorgerufene Zusatzverzögerung zeitlich abnimmt und somit in einen Bereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausgangs-Abtastwerten des Speichers kein Interpolationswert fällt und statt dessen der nächste Interpolationswert bereits in den nächsten Bereich zwischen den nächsten beiden benachbarten Ausgangs-Abtastwerten des Speichers fällt. Dies ist insofern problematisch, als in diesem Fall zwei Ausgangswerte gleichzeitig aus dem Speicher ausgelesen werden müßten, was bei üblichen Speichern mit einem Lesetor und einem

Schreibtor nicht möglich ist. Zwar gibt es auch aufwendigere Speicher mit einem Schreibtor und zwei Lesetoren, diese Speicher sind jedoch erheblich teurer und würden den Aufwand deutlich erhöhen. Auch die in der DE 101 08 922 A1 vorgeschlagene Lösung mit dem Speicher nachgeschalteten Lese-Fifo-Speichern würde den Aufwand beträchtlich erhöhen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Signalverzögerungseinrichtung und ein Verfahren zur Verzögerung eines digitalen Signals zu schaffen, die bzw. das mit einem geringen Implementierungsaufwand auch beim Auftreten von Bereichsüberschreitungen und Bereichsunterschreitungen eine dynamische Signalverzögerung ermöglicht.

Die Aufgabe wird bezüglich der Signalverzögerungseinrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 1 und bezüglich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 6 gelöst.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß es statt einer aufwendigen Erhöhung des Zugriffs auf die Speichereinrichtung vorteilhaft ist, den bei der Bereichsunterschreitung benötigten Zusatz-Abtastwert in einem parallel zu der Speichereinrichtung angeordneten Register bereitzustellen. Wird die untere Bereichsgrenze erreicht, so wird das Register mit dem Zusatz-Abtastwert geladen und kann ausgelesen werden, wenn der passende Abtastwert am Ausgang der Speichereinrichtung angekommen ist.

Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Vorteilhaft wird nach dem Speichern eines Abtastwerts in dem Register der nächste wieder der Speichereinrichtung zugeführte Abtastwert markiert, beispielsweise durch ein von der Datenbreite nicht belegtes Bit der Wortbreite der

- Speichereinrichtung. Wenn dieser markierte Abtastwert den Ausgang der Speichereinrichtung erreicht, kann dies anhand der Markierung erkannt werden und es kann dann sowohl dieser markierte Abtastwert aus der Speichereinrichtung als auch der Zusatz-Abtastwert aus dem Register der Interpolationseinrichtung zugeführt werden, so daß die nächste Interpolation nicht in dem nächsten Bereich, sondern in dem übernächsten Bereich vorgenommen werden kann. Diese Markierung ist jedoch zur Durchführung der Erfindung nicht zwingend. Da die Laufzeit durch die Speichereinrichtung an sich bekannt ist, könnte auch durch eine - in der Regel allerdings kompliziertere - Ablaufsteuerung erfaßt werden, wann der auf den in dem Register gespeicherten Abtastwert unmittelbar nachfolgende Abtastwert am Ausgang der Speichereinrichtung angekommen ist. Die Laufzeit durch den Speicher ergibt sich aus der gewünschten Grobverzögerung. Sie hängt nicht von der Speicherkapazität ab.
- Die Interpolationseinrichtung besteht vorteilhaft aus einem Polyphasenfilter, welchem zur Reduzierung des Aufwands ein Halbbandfilter (half-band filter) vorgeschaltet ist.
- Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:
- Fig. 1A ein Zeitschema zur Veranschaulichung einer statischen Verzögerung;
- Fig. 1B ein Zeitschema zur Veranschaulichung einer dynamischen Verzögerung mit einer Bereichsüberschreitung;
- Fig. 1C ein Zeitschema zur Veranschaulichung einer dynamischen Verzögerung mit einer Bereichsunterschreitung;

- Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung in einem ersten Zustand;
- 5 Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung in einem zweiten Zustand;
- 10 Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung in einem dritten Zustand;
- 15 Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung in einem vierten Zustand;
- 20 Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Signalverzögerungseinrichtung in einem fünften Zustand;
- Fig. 7 ein Flußdiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens und
- 25 Fig. 8 ein Zeitschema zur Erläuterung der Funktion des Halbbandfilters (half-band filter) und des Polyphasenfilters.

30 Bevor anhand der Figuren 1A bis 1C die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problematik erläutert wird, wird zunächst anhand von Fig. 2 der grundsätzliche Aufbau der Signalverzögerungseinrichtung 1 erläutert.

Ein digital abgetastetes Eingangssignal $S_{in}(k)$ wird einer Speichereinrichtung 2 zugeführt. Das Eingangssignal $S_{in}(k)$ wird in die Speichereinrichtung 2 zyklisch eingespeichert. Die Speichereinrichtung erzeugt gewissermaßen eine Grobverzögerung. Nach dieser Grobverzögerung wird der entsprechende Abtastwert aus der Speichereinrichtung 2 ausgelesen und einer Interpolationseinrichtung 3

zugeführt, die im dargestellten Ausführungsbeispiel aus einem der Speichereinrichtung 2 nachgeschalteten Halbbandfilter (half-band filter) 4 und einem dem Halbbandfilter (half-band filter) 4 nachgeschalteten Polyphasenfilter 5 besteht.

Das Polyphasenfilter 5 besteht im dargestellten Ausführungsbeispiel aus einem ersten Verzögerungselement 6_1 , einem zweiten Verzögerungselement 6_2 und einem dritten Verzögerungselement 6_3 , einem ersten Multiplexer 7_1 , einem zweiten Multiplexer 7_2 , einem dritten Multiplexer 7_3 , einem vierten Multiplexer 7_4 und einem fünften Multiplexer 7_5 . Während der fünfte Multiplexer 7_5 eine später noch zu beschreibende Sonderfunktion hat, dient der erste Multiplexer 7_1 zum Umschalten zwischen dem Eingang des ersten Verzögerungselements 6_1 und dem Eingang des zweiten Verzögerungselements 6_2 . Der zweite Multiplexer 7_2 dient zum Umschalten zwischen dem Eingang des zweiten Verzögerungselements 6_2 und dem Ausgang des ersten Verzögerungselements 6_1 bzw. dem Eingang des dem ersten Verzögerungselement 6_1 nachgeschalteten dritten Verzögerungselements 6_3 . Der dritte Multiplexer 7_3 dient zum Umschalten zwischen dem Eingang des dritten Verzögerungselements 6_3 und dem Ausgang des zweiten Verzögerungselements 6_2 . Hingegen dient der vierte Multiplexer 7_4 zum Umschalten zwischen dem Ausgang des zweiten Verzögerungselements 6_2 und dem Ausgang des dritten Verzögerungselements 6_3 .

Die Ausgänge der Multiplexer 7_1 bis 7_4 sind mit Multiplizierern 8_1 bis 8_4 verbunden. Jeder Multiplizierer 8_1 bis 8_4 ist außerdem mit einem Koeffizientenspeicher 9_1 bis 9_4 verbunden, in welchem mehrere auslesbare Multiplikationskoeffizienten I_0 bis I_3 gespeichert sind. Nachdem die weniger signifikanten Bits der Ausgangssignale der Multiplizierer 8_1 bis 8_4 abgeschnitten wurden, werden diese Ausgangssignale paarweise einem ersten Addierer 10_1 und einem zweiten Addierer 10_2 zugeführt, während die Ausgänge der Addierer 10_1 und 10_2 wiederum in einem

drritten Addierer 10₃ zu einem Gesamtsignal summiert werden. Nach einer Rundung in einer Rundungseinrichtung 11 steht das Ausgangssignal $S_{out}(k)$ als interpolierter Abtastwert zur Verfügung.

5

Anhand von Fig. 8 wird nachfolgend die grundsätzliche Arbeitsweise der Interpolationseinrichtung 3 erläutert. Dargestellt sind am linken und rechten Bildrand zwei als "Originalwerte" bezeichnete Ausgangs-Abtastwerte $x(k-1)$ und $x(k)$ der Speichereinrichtung 2. Das Halbbandfilter (half-band filter) 4 interpoliert zusätzlich zu diesen "Originalwerten" einen zeitlich exakt mittig liegenden Zwischenwert. In Fig. 8 sind die drei Ausgangswerte $y(2k-3)$, $y(2k-2)$ und $y(2k-1)$ des Halbbandfilters (half-band filter) 4 dargestellt. Das Polyphasenfilter 5 interpoliert im Ausführungsbeispiel an zehn äquidistanten Polyphasen p_0 bis p_9 zwischen den durch das Halbbandfilter (half-band filter) 4 erzeugten Ausgangswerten. An welcher der zehn verschiedenen Polyphasen p_0 bis p_9 interpoliert wird, hängt von den aus den Koeffizientenspeichern 9₁ bis 9₄ ausgelesenen Koeffizienten ab. Eingestellt wird die gewünschte Polyphase über die Adresse "Read Control" in Fig. 2. Da die ungeraden Ausgangswerte $y(2k-1)$ und die geraden Ausgangswerte $y(2k)$ aus dem Halbbandfilter (half-band filter) 4 getrennt ausgegeben werden und getrennten Verzögerungsketten zugeführt werden, kann durch Umschalten der Multiplexer 7₁ bis 7₄ zwischen den Bereichen "Bereich 1" und "Bereich 2" in Fig. 8 umgeschaltet werden.

30 Bezogen auf die Ausgangswerte $x(k)$ der Speichereinrichtung 2 können somit zwanzig äquidistante Zwischenwerte wahlweise umschaltbar interpoliert werden. Dies ermöglicht eine Feineinstellung der von der Signalverzögerungseinrichtung 1 insgesamt erzeugten
35 Signalverzögerung. Im in Fig. 8 betrachteten Beispiel hat das Eingangssignal $S_{in}(k)$ eine Abtastrate von 100 MHz, d.h. die Abtastperiode beträgt 10 ns. Mit der Speichereinrichtung 2 wird somit eine Grobverzögerung eines Vielfachen von 10 ns erzeugt. Mit dem Halbbandfilter

(half-band filter) 4 und dem Polyphasenfilter 5 wird zusätzlich eine Feinverzögerung im Raster von 0,5 ns ermöglicht, wodurch die Genauigkeit der einstellbaren Verzögerung erheblich vergrößert wird.

5

Anhand der Fig. 1A bis 1C wird das der Erfindung zugrundeliegende Problem erläutert. Dargestellt sind jeweils eine Anzahl von "Originalwerten" $x(k)$ am Ausgang der Speichereinrichtung 2 und daraus erzeugter interpolierter Zwischenwerte $S_{\text{Out}}(k)$.

10

In Fig. 1A ist zunächst der Fall einer statischen Verzögerung dargestellt. Jedem Ausgangs-Abtastwert $x(k)$ der Speichereinrichtung 2 entspricht genau ein Ausgangs-Abtastwert $S_{\text{Out}}(k)$ der Interpolationseinrichtung 3. Dieser Fall ist unproblematisch.

15

Fig. 1B zeigt den Fall, daß die durch die Signalverzögerungseinrichtung 1 hervorgerufene Verzögerung τ mit der Zeit t zunimmt, d.h. die Verzögerungsintervalle τ_1 bis τ_6 werden zunehmend größer. In dem durch die Ausgangs-Abtastwerte $x(k-4)$ und $x(k-3)$ der Speichereinrichtung 2 begrenzten und in Fig. 1B grau unterlegten Bereich 20 liegt nicht nur einer, sondern es liegen zwei Ausgangs-Abtastwerte $S_{\text{Out}}(k-3)$ und $S_{\text{Out}}(k-2)$. Dieser Fall wird im Rahmen dieser Anmeldung als Bereichsüberschreitung bezeichnet. Dieser Fall stellt noch kein allzu großes Problem dar und kann auch bei einem RAM mit nur einem Schreibtor und einem Lesetor dadurch gelöst werden, daß in die Speichereinrichtung 2 zwar ein neuer Abtastwert eingespeichert wird, d.h. der Schreibzeiger verstellt, z.B. inkrementiert, wird, aus der Speichereinrichtung 2 jedoch kein neuer Abtastwert $x(k)$ ausgelesen wird, d.h. der Lesezeiger nicht verstellt wird. Folglich können das Halbbandfilter (half-band filter) 4 und das Polyphasenfilter 5 mit den gleichen Ausgangswerten eine nochmalige Interpolation, jetzt allerdings an einer anderen Interpolationsstelle, d. h. mit gewechseltem Bereich "Bereich 1" und "Bereich 2" in Fig. 8 und/oder mit

20

25

30

35

einer anderen Polyphase p_0 bis p_9 , ausführen. Bei einer Bereichsüberschreitung nimmt die Grobverzögerung der Speichereinrichtung 2 um eine Systemtaktperiode zu.

5 Fig. 1C zeigt den komplizierteren Fall, daß die von der Signalverzögerungseinrichtung 1 hervorgerufene Verzögerung τ mit der Zeit t abnimmt, d. h. die Verzögerungsintervalle τ_1 bis τ_5 werden zunehmend kleiner. In dem hier
 10 dargestellten Beispiel liegt der Interpolationswert $S_{out}(k-2)$ nicht im Bereich 21, der durch die Abtastwerte $x(k-4)$ und $x(k-3)$ am Ausgang der Speichereinrichtung 2 begrenzt ist, sondern im darauffolgenden Bereich 22, der durch die Abtastwerte $x(k-3)$ und $x(k-2)$ begrenzt ist. Die
 15 Berechnung von $S_{out}(k-2)$ findet daher auf der Grundlage von zwei neuen Abtastwerten am Ausgang der Speichereinrichtung 2 statt. Bei konventioneller Implementierung würde dies bedeuten, daß aus der Speichereinrichtung zwei Ausgangswerte gleichzeitig
 20 ausgelesen werden müßten. Dies könnte nur mit einem relativ teuren RAM mit zwei Lesetoren oder aber mit zwei parallel angeordneten RAM-Speicherbausteinen, die die gleiche Information beinhalten, implementiert werden. Beide Lösungen wären äußerst aufwendig und sind daher sehr
 25 nachteilig.

Zur Lösung dieses Problems wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, parallel zu der Speichereinrichtung 2 ein
 in Fig. 2 dargestelltes Register 30 anzuordnen, das beim Anlegen eines Freigabesignals "Enable" einen Abtastwert
 30 $S_{in}(k)$ des Eingangssignals speichert und das ausgangsseitig mit der Interpolationseinrichtung 3, im Ausführungsbeispiel mit dem Halbbandfilter (half-band filter) 4, in Verbindung steht. Außerdem wird der "Bereich 2" in Fig. 8 um die Polyphase p_{10} ergänzt.

35 Die Zusammenwirkung des Registers 30 mit der Speichereinrichtung 2 sowie der Interpolationseinrichtung 3 wird nachfolgend anhand der Figuren 2 bis 6 beschrieben. Dargestellt sind jeweils unterschiedliche

Verarbeitungszustände. Die jeweils aktiven Leitungen sind mit durchgezogenen Strichen dargestellt. Die nichtaktiven Leitungen sind mit punktierter Linienführung dargestellt.

- 5 Die Figuren 2 und 3 zeigen zunächst den normalen Betrieb der Signalverzögerungseinrichtung 1 ohne Aktivierung des Registers 30. Bei jedem Systemtakt wird durch das Steuersignal "Read & Write Control" jeweils ein Abtastwert des digitalen Eingangssignals $S_{In}(k)$ in die
 10 Speichereinrichtung 2 eingeschrieben und ein der Grobverzögerung entsprechender Abtastwert $x(k)$ ausgelesen. Die Figuren 2 und 3 unterscheiden sich darin, daß bei der Fig. 2 eine Interpolation im "Bereich 1" in Fig. 8, bei der Fig. 3 eine Interpolation im "Bereich 2" in Fig. 8
 15 durchgeführt wird. Dies wird durch entsprechendes Umschalten der Multiplexer 7_1 bis 7_4 erreicht. Der Multiplexer 7_5 ist in beiden Fällen so geschaltet, daß die ungeraden Ausgangs-Abtastwerte $y(2k-1)$ dem Verzögerungselement 6_2 zugeführt werden. Entsprechend der
 20 gewünschten Polyphase wird mit der Adresse "Read Control" der benötigte Koeffizientensatz in den Speichern 9_1 bis 9_4 ausgewählt. Tritt der in Fig. 1B dargestellte Fall der Bereichsüberschreitung auf, so wird in die Speichereinrichtung 2 nur ein neuer Abtastwert $S_{In}(k)$
 25 eingeschrieben, aber kein Abtastwert $x(k)$ ausgelesen.

- Wird die untere Bereichsgrenze in Fig. 8 bei 0 ns erreicht, so wird, wie in Fig. 4 dargestellt, das Register 30 durch das Freigabesignal "Enable" aktiviert.
 30 Gleichzeitig wird das Schreibtor der Speichereinrichtung 2 deaktiviert. Der nächste Abtastwert $S_{In}(k)$ des Eingangssignals wird daher nicht in der Speichereinrichtung 2, sondern in dem Register 30 gespeichert. Dadurch nimmt die Grobverzögerung der
 35 Speichereinrichtung 2 um eine Systemtaktperiode ab. Anders als bei der Bereichsüberschreitung ist hier die Interpolationseinrichtung 3 zunächst noch nicht von dieser Änderung betroffen, da die Änderung am Eingang der

Speichereinrichtung 2 und nicht an ihrem Ausgang vorgenommen wurde.

In Fig. 5 ist dargestellt, daß im nächsten Systemtakt der nächste Abtastwert $S_{In}(k)$ wieder in der Speichereinrichtung 2 gespeichert wird, wobei diesem Abtastwert allerdings eine Markierung hinzugefügt wird. Dazu ist symbolisch eine Markierungseinrichtung 31 dargestellt. Die Markierungseinrichtung 31 ist physisch in der Regel nicht vorhanden, sondern Bestandteil des zentralen Prozessors. Für die Markierung kann ein für das Datenwort nicht benötigtes Bit der Wortbreite der Speichereinrichtung 2 verwendet werden. Die Markierung durchläuft zusammen mit dem markierten Abtastwert die Speichereinrichtung 2. Die Interpolationseinrichtung 3, im Ausführungsbeispiel das Halbbandfilter (half-band filter) 4, registriert, wann die Markierung am Ausgang der Speichereinrichtung 2 vorliegt.

In Fig. 6 ist der Fall dargestellt, daß die Markierung am Ausgang der Speichereinrichtung 2 auftritt und von der Interpolationseinrichtung 3 erkannt wird. In diesem Fall wird der Multiplexer 7₅ umgeschaltet und von dem Halbbandfilter (half-band filter) 4 wird ein zusätzlicher Abtastwert erzeugt, der dem Verzögerungselement 6₂ anstelle des ungeraden Abtastwerts $y(2k-1)$ zugeführt wird. Die Interpolationseinrichtung 3 führt also eine Interpolation auf der Grundlage von zwei neuen Eingangswerten durch. Ein Eingangswert wurde aus der Speichereinrichtung 2 ausgelesen. Der andere Eingangswert wurde in dem Register 30 bis zum Eintreffen der Markierung zwischengespeichert und dann aus diesem ausgelesen.

Mit dem gleichzeitigen Einlesen von zwei neuen Werten in die Interpolationseinrichtung 3 ist die Verringerung der Verzögerung um eine Systemtaktperiode wirksam. Da aber bisher noch keine Bereichsunterschreitung stattgefunden hat, sondern mit dem Erreichen der unteren Bereichsgrenze lediglich die Möglichkeit einer zukünftigen

Unterschreitung gegeben ist, muß die Verzögerung von einer Systemtaktperiode durch sofortiges Umschalten der Polyphase von p_0 im "Bereich 1" auf p_{10} im "Bereich 2" wieder kompensiert werden. In der Summe hat sich an der

5 Verzögerung noch nichts geändert, aber die Vorbereitungen für eine tatsächliche Bereichsunterschreitung, also die Änderung der Polyphase von p_{10} auf p_9 im "Bereich 2", sind abgeschlossen.

10 Fig. 7 veranschaulicht das erfindungsgemäße Verfahren nochmals anhand eines Flußdiagramms.

Im Schritt S100 ist der normale Betrieb dargestellt, d. h. bei jedem Systemtakt wird der Schreibzeiger verstellt

15 (z.B. inkrementiert), welcher auf die nächste zu beschreibende Speicherzelle der Speichereinrichtung 2 zeigt. Entsprechend wird der Lesezeiger auf die nächste auszulesende Speicherzelle der Speichereinrichtung 2 verstellt, z.B. inkrementiert.

20 Im Schritt S101 wird geprüft, ob die untere Bereichsgrenze, d.h. die Polyphase p_0 im "Bereich 1" in Fig. 8 erreicht ist. Ist dies nicht der Fall, so kann die in Fig. 1C dargestellte Bereichsunterschreitung

25 ausgeschlossen werden. Es muß nun im Schritt S102 geprüft werden, ob statt dessen eine Bereichsüberschreitung vorliegt, d. h. ein Wechsel von der Polyphase p_{10} im "Bereich 2" mit einer von der Interpolation hervorgerufenen Zusatzverzögerung von im Beispiel 10 ns zu

30 der Polyphase p_0 im "Bereich 1" in Fig. 8 mit einer durch die Interpolation hervorgerufenen Zusatzverzögerung von 0,5 ns. Ist dies nicht der Fall, so verzweigt das Flußdiagramm wieder zum Schritt S100.

35 Liegt dagegen eine Bereichsüberschreitung vor, so wird im Schritt S103 nur der Schreibzeiger, nicht jedoch der Lesezeiger der Speichereinrichtung 2 verstellt. Durch diese Maßnahme verlängert sich die durch die Speichereinrichtung 2 hervorgerufene Verzögerung.

Gleichzeitig müssen die Schieberegister des Halbbandfilters (half-band filter) 4 und die Verzögerungselemente 6_1 , 6_2 und 6_3 des Polyphasenfilters 5 deaktiviert werden, damit diese nicht um einen Takt
 5 weiterschieben. Nachdem mit der neuen Polyphase eine zweite Interpolation im gleichen Bereich 20 in Fig. 1B vorgenommen wurde, verzweigt das Flußdiagramm wieder zum Schritt S100.

10 Wurde dagegen im Schritt S101 festgestellt, daß eine Bereichsunterschreitung vorliegt, so wird zunächst im Schritt S104, welcher der Fig. 4 entspricht, ein Abtastwert $S_{in}(k)$ anstatt in die Speichereinrichtung 2 in das Register 30 geladen. Dabei wird der Schreibzeiger der
 15 Speichereinrichtung 2 natürlich nicht verstellt. Da gleichzeitig jedoch ein Abtastwert aus der Speichereinrichtung 2 ausgelesen wird, muß der Lesezeiger verstellt werden. Durch diese Maßnahme verkürzt sich die durch die Speichereinrichtung 2 hervorgerufene
 20 Verzögerung. Der Schritt S104 ist in Fig. 4 dargestellt.

Im Schritt S105, welcher der Fig. 5 entspricht, wird im nächsten Systemtakt sowohl der Schreibzeiger als auch der Lesezeiger verstellt, aber der als nächstes in die
 25 Speichereinrichtung 2 eingeschriebene Abtastwert mit einer Markierung versehen.

Im Schritt S106 wird der normale Betrieb so lange fortgesetzt, bis im Schritt S107 festgestellt wird, daß
 30 die Markierung am Ausgang der Speichereinrichtung 2 eingetroffen ist. Dies bedeutet, daß der in dem Register 30 gespeicherte Zusatzwert zusammen mit dem nun am Ausgang der Speichereinrichtung 2 anliegenden Abtastwert $x(k)$ über das Halbbandfilter 4 und den Multiplexer 7_5 dem
 35 Verzögerungselement 6_2 des Polyphasenfilters 5 zugeführt werden kann, so wie dies in Fig. 6 dargestellt ist. Die Polyphase wird von 0 ns auf 10 ns geändert.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Laufzeit des markierten Abtastwerts durch die Speichereinrichtung 2 unschädlich ist, da der Systemtakt wesentlich höher ist als die zeitliche Änderung der Verzögerungszeit. Anders
5 ausgedrückt werden für eine bestimmte Polyphase eine Vielzahl von Abtastwerten interpoliert, bevor zur nächsten Polyphase gewechselt wird. In dieser Zeit ist der markierte Abtastwert mit hoher Sicherheit am Ausgang der Speichereinrichtung 2 angekommen. In Fig. 1B und 1C sind
10 die Veränderungen der Verzögerungszeit lediglich zur besseren Illustration übertrieben dargestellt.

Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt. Beispielsweise könnte, wie
15 bereits erwähnt, anstatt der Markierung auch eine Ablaufsteuerung überwachen, wann der Abtastwert, der auf den im Register 30 gespeicherten Abtastwert folgt, am Ausgang der Speichereinrichtung 2 angelangt ist.

Ansprüche

- 5 1. Signalverzögerungseinrichtung (1) zur dynamischen Verzögerung eines digital abgetasteten Eingangssignals mit einer Speichereinrichtung (2) und einer nachgeschalteten Interpolationseinrichtung (3),
wobei parallel zu der Speichereinrichtung (2) ein Register
10 (30) zur Zwischenspeicherung zumindest eines Abtastwertes ($S_{In}(k)$) des Eingangssignals angeordnet ist, welches ausgangsseitig mit der Interpolationseinrichtung (3) verbindbar ist.
- 15 2. Signalverzögerungseinrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine Markierungseinrichtung (31) vorhanden ist, die, nachdem ein Abtastwert ($S_{In}(k)$) des Eingangssignals in dem Register (30) zwischengespeichert wurde, dem nachfolgenden
20 in der Speichereinrichtung (2) gespeicherten Abtastwert ($S_{In}(k+1)$) des Eingangssignals eine Markierung hinzufügt.
3. Signalverzögerungseinrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
25 daß die Interpolationseinrichtung (3) überprüft, ob am Ausgang der Speichereinrichtung (2) die Markierung eingetroffen ist, und daraufhin sowohl einen Abtastwert ($x(k)$) aus der Speichereinrichtung (2) als auch einen Abtastwert aus dem Register (30) ausliest.
- 30 4. Signalverzögerungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Interpolationseinrichtung (3) ein Polyphasenfilter
35 (5) umfaßt.
5. Signalverzögerungseinrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Interpolationseinrichtung (3) ein Halbbandfilter
40 (half-band filter) (4) umfaßt, das zwischen der

Speichereinrichtung (2) und dem Register einerseits und dem Polyphasenfilter andererseits angeordnet ist.

6. Verfahren zur dynamischen Verzögerung eines digital abgetasteten Eingangssignals mit folgenden Verfahrensschritten:
- Speichern der Abtastwerte des Eingangssignals in einer Speichereinrichtung (2),
 - Auslesen der Abtastwerte ($S_{In}(k)$) aus der Speichereinrichtung (2),
 - Interpolieren der aus der Speichereinrichtung (2) ausgelesenen Abtastwerte ($x(k)$), wobei
 - sowohl ein Abtastwert ($S_{In}(k)$) in die Speichereinrichtung (2) gespeichert als auch ein Abtastwert ($x(k)$) aus der Speichereinrichtung (2) ausgelesen wird, wenn der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (19) bei der Interpolation weder unterschritten noch überschritten wird,
 - kein neuer Abtastwert ($x(k)$) aus der Speichereinrichtung (2) ausgelesen wird, wenn der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (20) bei der Interpolation überschritten wird,
 - bevor der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (21) bei der Interpolation unterschritten wird, ein Abtastwert ($S_{In}(k)$) des Eingangssignals in einem parallel zu der Speichereinrichtung (2) angeordneten Register (30) zwischengespeichert wird, der nächste in die Speichereinrichtung (2) gespeicherte Abtastwert ($S_{In}(k+1)$) des Eingangssignals markiert wird und sowohl ein Abtastwert aus der Speichereinrichtung (2) als auch der in dem Register (30) zwischengespeicherte Abtastwert ausgelesen wird, wenn der markierte Abtastwert am Ausgang der Speichereinrichtung (2) auftritt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

daß der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (20) bei der Interpolation überschritten wird, wenn mindestens zwei durch Interpolation erzeugte Interpolationswerte ($S_{out}(k-3)$, $S_{out}(k-2)$) in diesen Bereich (20) fallen.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (21) bei der Interpolation unterschritten wird, wenn kein durch die Interpolation erzeugter Interpolationswert diesen Bereich (21) fällt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Speichern in die Speichereinrichtung (2) mittels eines Schreibzeigers und das Auslesen aus der Speichereinrichtung (2) mittels eines Lesezeigers erfolgt, wobei der Schreibzeiger und der Lesezeiger jeweils auf eine bestimmte Speicherzelle der Speichereinrichtung zeigen,
wobei sowohl der Schreibzeiger als auch der Lesezeiger verstellt wird, wenn der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (19) bei der Interpolation weder unterschritten noch überschritten wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß nur der Schreibzeiger nicht jedoch der Lesezeiger verstellt wird, wenn der durch zwei aufeinanderfolgende Abtastwerte ($x(k-4)$, $x(k-3)$) vorgegebene Bereich (20) bei der Interpolation überschritten wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß nur der Lesezeiger nicht jedoch der Schreibzeiger verstellt wird, wenn in das Register (30) ein Abtastwert gespeichert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß sowohl der Schreibzeiger als auch der Lesezeiger
5 verstellt wird, wenn aus dem Register (30) ein Abtastwert
ausgelesen wird.

Zusammenfassung

- 5 Eine Signalverzögerungseinrichtung (1) zur dynamischen Verzögerung eines digital abgetasteten Eingangssignals umfaßt eine Speichereinrichtung (2) und eine nachgeschaltete Interpolationseinrichtung (3). Erfindungsgemäß ist parallel zu der Speichereinrichtung
- 10 (2) ein Register (30) zur Zwischenspeicherung zumindest eines Abtastwerts ($S_{In}(k)$) des Eingangssignals angeordnet, welches ausgangsseitig mit der Interpolationseinrichtung (3) verbindbar ist.

15

(Fig. 2)